

ГУАП
Кафедра № 43

Рейтинг:
Преподаватель: Орлов В.Ф.

Маятник Максвелла

Отчёт по лабораторной работе
по курсу “Общая физика”

ОФ.43.2016.03.л.р.

работу выполнил
студент группы 4312
Маникин Алексей Юрьевич

Санкт-Петербург
2003

Цель работы.

Определение момента инерции маятника Максвелла

Описание лабораторной установки.

На вертикальной стойке крепятся два кронштейна. Верхний неподвижный кронштейн снабжен воротком для крепления и регулировки бифилярного подвеса, электромагнитом для фиксирования маятника в верхнем положении и фотодатчиком, включающим секундомер. На подвижном кронштейне закреплен фотодатчик, выключающий секундомер. Шкала секундомера вынесена на лицевую панель прибора.

Кнопка "Сеть" включает питание установки, кнопка "сброс" производит обнуление показаний секундомера. При нажатии на кнопку "Пуск" отключается электромагнит, и маятник приходит в движение.

Массу и момент инерции можно менять при помощи сменных колец, надеваемых на диск. Длина нити должна быть такой, чтобы нижняя кромка маятника была на 1–2 мм ниже оптической оси нижнего фотодатчика. Ось маятника должна быть горизонтальной. Длина нити (высота падения) определяется по шкале, нанесённой на вертикальной стойке.

Параметры установки

Радиус оси: $r = 5$ мм

Радиус нити: $r_н = 0,6$ мм

Радиус диска: $R_1 = 42,5$ мм

Внешний радиус кольца: $R_2 = 52,5$ см

Масса диска: $m_D = 132$ гр

Масса кольца №1: $m_{K1} = 250$ гр

Масса кольца №2: $m_{K2} = 390$ гр

Технические характеристики приборов

№	Название	Измерение(max)	Цена деления	Класс точности	Сис. ошибка
1	Линейка	44 см	1 мм	0,5	2 мм
2	Секундомер	99,999 с	0,001 с	1	0,001 с

3) Рабочие формулы.

Момент инерции маятника Максвелла:

$$I = m_{сис\text{-}мы}(r + r_н)^2 (gt^2/2h_0 - 1) \qquad (3.1)$$

Где $m_{сис\text{-}мы}$ – общая масса всей системы, g – ускорение свободного Падения, t – время падения, h_0 – начальная высота падения маятника.

Теоретическое выражение момента инерции маятника Максвелла:

$$I = ½(m_D R_1^2 + m_K(R_1^2 + R_2^2)) \qquad (3.2)$$

4) Результаты измерений.

Таблица 4.1. Диск без кольца. $m_{сис\text{-}мы} = m_D = 0.132$ кг

№	h_0 = 16,5 см	h_0 = 10 см
	t, сек	t, сек
1	0,823	0,508
2	0,816	0,604
3	0,814	0,595
4	0,812	0,584
5	0,8	0,595
	$t_{сред.}$ = 0,81 с	$t_{сред.}$ = 0,58 с

Таблица 4.2. Диск с кольцом №1. $m_{сис\text{-}мы} = m_D + m_{K1} = 0.38$ кг

№	h_0 = 15,5 см	h_0 = 9 см
	t, сек	t, сек
1	1,215	0,848
2	1,242	0,838
3	1,215	0,861
4	1,208	0,84
5	1,215	0,878
	$t_{сред.}$ = 1,2 с	$t_{сред.}$ = 0,85 с

Таблица 4.3. Диск с кольцом №2. $m_{сис\text{-}мы} = m_D + m_{K2} = 0.52$ кг

№	h_0 = 15,5 см	h_0 = 9 см
	t, сек	t, сек

1	1,269	0,841
2	1,284	0,943
3	1,273	0,895
4	1,225	0,911
5	1,298	0,89
	$t_{сред.}$ = 1,25 с	$t_{сред.}$ = 0,9 с

5) Примеры вычислений.

5.1. $I_1 = 0,132*((5 + 0,6)*10^{-3})^2(9,8*0,81^2/2*16,5 - 1) = 7,7*10^{-5}$ кг*м^2

$I_2 = 6,5*10^{-5}$ кг*м^2

$I_3 = 5,3*10^{-4}$ кг*м^2

$I_4 = 4,6*10^{-4}$ кг*м^2

$I_5 = 7,9*10^{-4}$ кг*м^2

$I_6 = 4,1*10^{-4}$ кг*м^2

5.2. $I_{теор1,2} = ½ * 0,132*(42,5*10^{-3})^2 = 11,5*10^{-5}$ кг*м^2

$I_{теор3,4} = 6,8*10^{-5}$ кг*м^2

$I_{теор5,6} = 10^{-3}$ кг*м^2

6) Вычисление погрешностей.

6.1. **Среднее значение момента инерции (I):**

$I_{ср1,2} = (7,7+6,5)/2*10^{-5} = 7,1*10^{-5}$ кг*м^2

$I_{ср3,4} = 5*10^{-4}$ кг*м^2

$I_{ср5,6} = 6*10^{-4}$ кг*м^2

6.2. **Относительная погрешность момента инерции (I):**

$\varepsilon I_{ср1,2}$: $100\% * |I_{теор1,2} - I_{ср1,2}| / I_{теор1,2} = 39\%$

$\varepsilon I_{ср3,4}$: $100\% * |I_{теор3,4} - I_{ср3,4}| / I_{теор3,4} = 26\%$

$\varepsilon I_{ср5,6}$: $100\% * |I_{теор5,6} - I_{ср5,6}| / I_{теор5,6} = 40\%$

6.3. **Систематическая ошибка момента инерции (I):**

$\Theta_{I1} = m_{сис-мы}(r + r_н)^2(\Theta_t*gt/h + \Theta_h*gt^2/2h^2) =$

$= 0,132(5*10^{-3} + 0,6*10^{-3})^2((0,0001*0,81*9,8)/0,165 +$

$+ 9,8*(0,81)^2*2*10^{-3}/(2*0,165)) = 3.6*10^{-7}$ кг*м^2

$\Theta_{I2} = = 1.3*10^{-4}$ кг*м^2

$\Theta_{I3} = = 2.4*10^{-4}$ кг*м^2

7) Окончательные результаты, их обсуждения, выводы.

Рис 2.1 Точки приложения сил

Рис 2.2 Размеры элементов маятника

МАЯТНИК МАКСВЕЛЛА

Цель работы: определение момента инерции маятника Макс.
велла.

Теоретические сведения

Маятник Максвелла (рис. 3.1) представляет собой диск, жестко
насаженный на стержень и подвешенный на двух параллельных
нерастяжимых нитях. Намотав нити на стержень, можно сооб.
щить маятнику потенциальную энергию относительно его нижне.
го положения. Если маятник отпустить из верхнего положения,
то, вращаясь, он начнет падать. Учитывая, что на маятник дей.
ствуют только консервативные силы (сила тяжести и сила натя.
жения нитей), закон сохранения его механической энергии можно
записать в виде: где h0 – начальная высота маятника, определяющая его полную
энергию; h – текущая высота; т – масса маятника; I – момент
инерции маятника относительно
его оси; ω – угловая скорость вра.
щения относительно этой оси; υ –
скорость центра масс; g – ускоре.
ние свободного падения. Начало
отсчета поместим в нижней точке.
Радиус.вектор h,

проведенный
из этой точки в центр масс маятни.
ка, будет направлен вертикально
вверх. Поскольку ускорение сво.
бодного падения направлено верти.
кально вниз, произведение скаляр.
ных величин можно заменить ска.
лярным произведением векторов
mgh mg h =− · .   Рис. 3.1. Маятник Максвелла

Известно также, что ( ) 2 2

ω υ = r , где r – радиус стержня, и что
2υ υυ = · .   С учетом сделанных замечаний (3.1) переписывается
в виде

0 2

1
2 2 . I m mg h mg h
r
υυ υυ · + · − · = ·

(3.2)
Дифференцируем получившееся уравнение по времени и полу.
чаем

2 0. d I d dh
m mg dt dt dt r
υ υ
υ υ + −=

(3.3)

Учитывая, что , , dh d
a
dt dt
υ = = υ
где a

– ускорение центра масс,

перепишем уравнение (3.3) в виде
2 2 mr a I a mr g υυ υ ⋅ + ⋅ = ⋅ .

(3.4)
Все векторы в (3.4) направлены одинаково, поэтому перейдем
от скалярных произведений к произведениям длин векторов. Де.
лим все члены уравнения на модуль скорости и получаем
2 2 mr a Ia mr g + = , или

( ) 2 I mr g a = −1 . (3.5)
Поскольку величины I, m и r для маятника Максвелла посто.
янны, ускорение маятника будет тоже постоянным. Найти его
можно, измерив время падения t с высоты h0

0
2
2 . h
a
t =

(3.6)
Подставив (3.6) в (3.5), получим выражение для вычисления
момента инерции маятника Максвелла
2
2
0
1
2 . gt I mr
h
⎛ ⎞ ⎜ ⎟ = − ⎜ ⎟ ⎜ ⎟
⎜ ⎟ ⎜ ⎟ ⎝ ⎠

(3.7)
В этой формуле не учтена толщина нити, которая наматывается
на ось маятника. В реальных условиях ее нужно обязательно учи.
тывать. На рис. 3.2 показано, что сила натяжения T приложена

не краю шкива, а к середине нити. Поэтому, радиус шкива r сле.
дует заменить суммой r + rн, где rн – радиус нити.

( )
2
2
0
1
2 . gt I mr r
h H

⎛ ⎞ ⎜ ⎟ =+ − ⎜ ⎟ ⎜ ⎟ ⎜ ⎟

⎜ ⎟⎜ ⎟ ⎜ ⎟ ⎝ ⎠

(3.8)

Рис. 3.2. Точки
приложения сил Рис. 3.3. Размеры
элементов маятника

Маятник Максвелла (рис. 3.3) состоит из трех элементов: оси вращения, диска и кольца. Поэтому его момент инерции склады. вается из моментов инерции этих трех элементов:

0 II I I =+ +D K. (3.9)

Момент инерции оси ввиду его малости учитывать не будем. Моменты инерции диска и кольца можно найти по формулам:

( ) 2
2 2
1 2 2 2 ; . DD K
D K KK
mR m I I RR = =+

(3.10)

Принимая во внимание, что 1 1 R RR K D = = , а 2 2 R R K = , полу. чаем теоретическое выражение для момента инерции маятника Максвелла

( ) ( ) 2 22
1 12
1
2
I mR m R R = ++

Лабораторная установка

Внешний вид лабораторной установки показан на рис. 3.4. На вертикальной стойке крепятся два кронштейна. Верхний непо. движный кронштейн снабжен воротком 1 для крепления и регу. лировки бифилярного подвеса, электромагнитом 2 для фиксиро. вании маятника в верхнем положении и фотодатчиком 3, вклю. чающий секундомер. На подвижном кронштейне закреплен фото. датчик 4, выключающий секундомер. Шкала секундомера 5 выне. сена на лицевую панель прибора.

Кнопка “Сеть” включает питание установки, кнопка “Сброс” обнуляет показания секундомера. При нажатии на кнопку “Пуск” отключается электромагнит, и маятник приходит в движение. Массу и момент инерции маятника можно менять при помощи сменных колец, надеваемых на диск. Длина нити должна быть такой, чтобы нижняя кромка маятника была на 1–2 мм ниже оп. тической оси нижнего фотодатчика. Ось маятника должна быть горизонтальной. Длина нити (высота падения) определяется по шкале, нанесенной на вертикальной стойке.

Параметры установки:
радиус оси – 5 мм,
радиус нити – 0,6 мм,
радиус диска – R1 = 42,5 мм,
внешний радиус кольца – R2 = 52,5 мм.
Значения остальных параметров указаны на элементах маят. ника.

Задания и порядок их выполнения

Задание 1. Экспериментальное определение момента инерции маятника Максвелла (стандартный опыт).
Провести измерение времени падения маятника не менее 10 раз. Вычислить среднее время падения, а по нему при помощи формулы (3.8) момент инерции. Провести стандартную обработку результатов измерений. Погрешность измерения высоты принять равной θh = 2 мм, погрешность измерения времени θt = 0,001 с.
Внимание! При проведении опыта нужно следить за тем, чтобы нить наматывалась на ось аккуратно в один слой. Опыты, в кото. рых это условие не соблюдается, в дальнейшем не учитывать.
Описанная выше процедура является стандартным опытом в данной работе. Ее нужно провести для маятника с каждым из сменных колец.
Задание 2. Исследование зависимости момента инерции маят. ника Максвелла от высоты, с которой происходит его падение.
Для указанного преподавателем кольца провести стандартный опыт для трех разных высот h. Экспериментально убедиться в том, что момент инерции маятника не зависит от начальной высоты, и в отчете объяснить, почему. Получить среднее значение момента инерции маятника по результатам трех серий, проведенных при разных высотах.
При проведении математической обработки результатов из' мерений в первом и втором заданиях нужно исходить из того, что момент инерции является неслучайной величиной.

Задание 3. Теоретический расчет момента инерции маятника Максвелла.
По формулам (3.10), (3.11) вычислить моменты инерции диска, колец и маятника в целом во всех случаях. Сравнить расчетные значения с измеренными и объяснить расхождения, если они воз. никнут.

Контрольные вопросы

1. Что называется моментом инерции абсолютно твердого тела?
2. Чему равны моменты инерции диска и кольца?
3. Чему равна кинетическая энергия абсолютно твердого тела?
4. Запишите закон сохранения энергии для маятника Макс. велла.
5. Является ли падение маятника равноускоренным?
6. Почему, опустившись до нижней точки, маятник снова на. чинает подниматься наверх?
7. Какая энергия маятника больше – кинетическая поступа. тельного движения или кинетическая вращения? (При ответе на этот вопрос воспользоваться полученным значением момента инерции маятника и известным значением радиуса оси маятника.)
8. Как зависит время падения маятника Максвелла от его массы?

9. Как изменится время падения, если маятник выполнить из менее плотного, чем сталь материала (например, алюминия)?